

**Evaluación y Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del  
municipio de Purificación en el departamento de Tolima.**

**Jimmy Sebastián Fandiño Piamonte  
Carlos Esteban Camargo Arcila**

**Universidad Católica de Colombia  
Facultad de Ingenierías  
Programa de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C  
2013**

**Evaluación y Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del  
municipio de Purificación en el departamento de Tolima.**

**Jimmy Sebastián Fandiño Piamonte  
Carlos Esteban Camargo Arcila**

**Director  
Álvaro Enrique Rodríguez Páez  
Ingeniero Civil**

**Trabajo de grado para optar al  
Título de Ingeniero Civil**

**Universidad Católica de Colombia  
Facultad de Ingenierías  
Programa de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C  
2013**



## Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Director de Investigación  
Ing. Álvaro Enrique Rodríguez Páez

---

Coordinador Trabajo de grado  
Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Bogotá D.C. Noviembre de 2013

A Dios por darme la vida y día a día la fuerza  
que necesito para salir adelante, por hacer de  
mi vida maravillosa y permitirme compartir  
tantos momentos con las personas que más  
quiero.

A mis padres, Gladys Piamonte y Jaime  
Fandiño por enseñarme tantos valores, por  
siempre haber creído en mí, en cada momento  
de mi vida, por su apoyo incondicional, por sus  
consejos, por su amor, por luchar por darme  
todo lo que ellos nunca tuvieron y ante todas las  
adversidades siempre perseverar para salir  
adelante.

A mis hermanos Valentina, Lorena, Hans. Por  
ser tan especiales y llenar mi vida de alegría,  
por su apoyo en cada dificultad.

A mi novia Daniela por ser una compañía tan  
maravillosa en mi vida, por su comprensión y  
apoyo, y por demostrarme siempre su amor.

Sebastián Fandiño Piamonte

A dios por ser el mayor apoyo, en todo mi proceso educativo, el cual me ha ayudado en todas esas noches de vela las cuales tome para desarrollar mis trabajos, proyectos tareas colmándome de paciencia, valor, conocimientos y despejando todas mis dudas esas que hacen que uno tiemble de los nervios y que se suba la tensión al saber que ya no queda mucho tiempo, por ser esa persona que me ha ayudado a levantarme y a seguir adelante hasta el final, cuando pensaba en cancelar alguna materia o en abandonar la carrera.

A mi madre Bibiana Yaneth Arcila por ser el mayor ejemplo que tengo en la vida, por nunca perder las esperanzas en mí y siempre confiar de una manera inimaginable, ya que con todo su amor, paciencia y consejos ha hecho que todo esto sea posible.

A toda mi familia padre, tíos, hermanos que siempre han estado hay cuando los necesito, apoyándome incondicional mente.

Carlos Camargo Arcila

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a, Dios como principal instancia por ser la razón y fundamento de sus vidas, a sus familias por el apoyo que siempre les han otorgado, al Ingeniero Felipe Santamaría por su compromiso con la formación y su colaboración en la parte técnica del presente trabajo, al Ingeniero Álvaro Enrique Rodríguez Páez por su dirección y enfoque , al Ingeniero Juan Carlos Ruge Cárdenas por su disponibilidad y colaboración, Finalmente a Jorge Hernán Pérez González por su amabilidad, compromiso con la formación y su excelente asesoría normativa en la culminación de este proyecto.

Queremos agradecer a todos nuestros profesores de la carrera por su constancia y empeño, por hacer de nosotros profesionales de bien y darnos un pequeño abrebocas de la grandeza que nos espera en un futuro.

Gracias a todos ustedes este trabajo y comienzo de proyecto de vida, fueron posibles, estamos seguros de que todos los momentos y experiencias adquiridas brindaran frutos.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1. GENERALIDADES.....	18
1.1 ANTECEDENTES.....	18
1.1.1 Ubicación del proyecto.....	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Descripción del Problema.....	20
1.2.2 Formulación del Problema.....	21
1.2.3 Sistematización.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo General.....	21



1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACION.....	22
1.5 DELIMITACION.....	22
1.5.1 Espacio.....	22
1.5.2 Tiempo.....	22
1.5.3 Contenido.....	23
1.5.4 Alcance.....	23
1.6 MARCO REFERENCIAL (TEORICO).....	23
1.7 MARCO CONCEPTUAL.....	43
1.8 METODOLOGÍA.....	44
1.8.1 Tipo de Estudio.....	44
1.8.2 Fuentes de Información.....	44
1.9 DISEÑO METODOLÓGICO.....	45

2. CALIDAD DEL AGUA.....	46
2.1 Estado Inicial.....	46
2.1.1 Captación.....	48
2.1.2 Aplicación de productos químicos y mezcla rápida.....	49
2.1.2.1 Para la coagulación.....	50
2.1.3 Sistema de aireación.....	51
2.1.4 Mezcla Lenta.....	51
2.1.5 Sedimentadores.....	52
2.1.6 Filtración.....	53
2.1.7 Desinfección.....	54
2.1.8 Cloración.....	54
2.1.9 Costos de Operación.....	55
2.1.9 Almacenamiento.....	55
2.2 EVALUACIÓN DE LA PTAP, MEMORIAS DE CÁLCULO.....	56

2.2.1 Estado Optimizado.....	64
2.2.1 Optimización de la PTAP, Memorias de cálculo.....	65
3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	72
4. CONCLUSIONES.....	73
5. RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	75

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Caudales mínimos y máximos según las dimensiones del medidor Parshall.....	27
Tabla 2. Propiedades del ozono.....	35
Tabla 3. Concentración en mg/l requerida para matar o inactivar 99% de los organismos listados en 10 min a 5°C (según Morris).....	37
Tabla 4. Clasificación de los filtros.....	39
Tabla 5. Comparación de la calidad del agua en el municipio de purificación 1992-2007.....	46
Tabla 6. Análisis del laboratorio.....	47

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Planta de tratamiento, Purificación Tolima .....	18
Figura 2. Municipio Purificación Tolima.....	20
Figura 3. Aducción bocatoma – Desarenador.....	24
Figura 4. Conductos prefabricados.....	24
Figura 5. Conductos cerrados construidos en sitio.....	25
Figura 6. Bocatoma lateral de bombeo.....	26
Figura 7. Medidor Parshall en descarga libre y sumergida. Planta y corte.....	27
Figura 8. Captación en corrientes superficiales. Bocatoma en recta y en curva...	28
Figura 9. Bocatoma con muro transversal.....	29
Figura 10. Ejemplo de un Desarenador en planta.....	30
Figura 11. Ejemplo del Desarenador corte A-A.....	31

Figura 12. Ejemplo del Desarenador corte B-B.....	31
Figura 13. Distribución de I2 y HOI a 20°C y a los pH indicados (según Chang)...	33
Figura 14. Relación concentración-tiempo para destruir el 99.9% de los..... microorganismos con I2 y HOI a 18°C	34
Figura 15. Generación de ozono.....	36
Figura 16. Aplicación de Dióxido de cloro.....	37
Figura 17. Retro mezcladores hidráulicos.....	38
Figura 18. Floculador tipo Alabama.....	40
Figura 19. Tanque de distribución superficial.....	42
Figura 20. Tanque de distribución elevado.....	42
Figura 21. Tanque de distribución y de compensación superficial.....	43
Figura 22. Índice de calidad general.....	48
Figura 23. Bocatoma lateral por bombeo.....	48
Figura 24. Cuarto de bombas.....	49
Figura 25. Coagulación.....	49

Figura 26. Canaleta Parshall.....	50
Figura 27. Sulfato de aluminio.....	51
Figura 28. Canal de concreto que conecta la floculación con los Sedimentadores.....	52
Figura 29. Panorámica Filtros y Sedimentadores.....	53
Figura 30. Filtración.....	54
Figura 31. Cuarto de cloro gaseoso.....	54
Figura 32. Tanque de almacenamiento.....	55

## RESUMEN

Una planta de tratamiento de agua potable, busca satisfacer una necesidad básica del ser humano, brindando una vida digna, mejorando la calidad de vida de la población; se busca disminuir gran cantidad de enfermedades y problemas en la sociedad, también contribuir con el medio ambiente mejorando el ecosistema de la zona. Por estas razones es importante la planta de tratamiento que se encuentra en el municipio Purificación Tolima es importante, así como un funcionamiento adecuado que permita aprovechar mejor los recursos existentes a un menor costo.

Si no se tienen en cuenta estas consideraciones se pueden presentar enfermedades como salmonelosis, cólera, shigelosis y otras por los microorganismos patógenos que pueden encontrarse en el agua.

Se busca un diseño óptimo que permita mayor eficiencia en la planta, adaptando todo a los recientes estándares de tratamiento y calidad de agua.

Para llevar a cabo este proyecto se hace necesario conocer muy bien la problemática de la zona y sus habitantes, para posteriormente dar un buen servicio que beneficie a toda la comunidad.

### Palabras Clave

Agua, Calidad de vida, Coagulación, Cloración, Consumo, Filtración, Floculación, Mantenimiento, Medio Ambiente, Operación, Optimización, Población, PTAP, RAS-2000, Sedimentación, Tanques de almacenamiento.



## INTRODUCCIÓN

Nuestro día a día representa objetivos por cumplir, se trata de un esquema de supervivencia donde existen prioridades a tener en cuenta; dicho esto, los gobiernos de diversas poblaciones deben satisfacer de manera eficaz y eficiente las necesidades básicas de una comunidad, a modo de brindar un estilo de vida digno, también se busca mejorar la calidad de vida de las personas, permitiéndoles obtener beneficios que antes no tenían, para esto son destinados recursos que permitirán mitigar este problema. Sucede que los tiempos cambian y la población cada vez tiene más necesidades, panorama que solo empeora la situación. Es ahí cuando se deben buscar otro tipo de soluciones; se necesita sacar el máximo provecho a las cosas que se tienen al menor costo posible y con ese capital ahorrado realizar obras para la población.

Una muy buena idea es diseñar sistemas que perduren en el tiempo como es el caso de una planta de tratamiento para agua potable y de esta manera después de 20 años poderla seguir utilizando sin ningún inconveniente, pero también es indispensable optimizar dicho sistema para evitar gastos que no son necesarios por medio de la planeación. En este trabajo se busca analizar el funcionamiento actual de la planta de tratamiento del municipio de purificación, optimizándola de manera que genere un mejor servicio y un menor costo de operación.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

Figura 1. Planta de tratamiento,  
Purificación Tolima



Foto, Fuente: Autores

En la actualidad, el municipio de Purificación posee una planta para agua potable convencional, ubicada en el costado izquierdo del río Magdalena, en el barrio Modelo. Funcionando a una temperatura media de 28°C. El municipio, cuenta con una población de 28601 personas de las cuales la planta trabaja para 16804, debido a que las veredas cuentan con sus propias plantas de tratamiento.

La planta tiene de construida aproximadamente 38 años y su sistema consta de:

- Captación
- Aducción
- Desarenador
- Canaleta Parshall
- Floculador
- 3 Sedimentadores compuestos por colmenas
- 3 filtros
- Cloración con cloro gaseoso
- Tanque

La población de purificación tiene un consumo de 201 l/hab/día, lo cual da a entender que la planta está funcionando para un caudal de 45l/s aproximadamente, pero según la medición dada por la canaleta Parshall, la planta está tratando hoy un caudal de 70 hasta 90 l/s, Lo que genera un sobre costo sin justificación de operación y mantenimiento.

También se tiene que debido a la presencia de los embalses de prado y Betania, en determinados momentos la turbiedad del agua se aumenta considerablemente. Se busca presentar un diseño óptimo que permita reducir costos y mejorar las condiciones del agua que abastece la comunidad.

1.1.1. Ubicación del proyecto. La planta de tratamiento está ubicada en el municipio purificación Tolima sus límites son, desde la boca de la quebrada de Hilarco en el río Magdalena, en dirección al occidente y en línea recta, a la boca de la quebrada de El Jagualen el río Chenche. De halla en línea recta a la boca de la quebrada Doyare en el río Saldaña el cual es el mayor influente del río Magdalena, lindando en esta parte con el municipio de Coyaima. Río Saldaña, aguas abajo, lindando con los municipios de Ortega, San Luis y el Guamo, hasta que desemboca en el río Magdalena, en el río Magdalena aguas arriba lindando con el municipio de Suarez, hasta encontrarse con la boca de la quebrada el consuelo, desde esta quebrada arriba hasta su nacimiento, en este punto en línea recta hasta el origen de Zanja-Honda, lindando también con el municipio Suarez, por todo el cauce de la quebrada de Zanja-Honda, hasta su confluencia con el río Cunday, por este mismo río arriba

hasta la boca de la quebrada llamada baja, está arriba hasta el cerro denominado La Fila, por toda la cumbre de este cerro hasta el Boquerón de Cuinde, lindando con el municipio Cunday, por el rio Cuinde hasta sus cabeceras y de esta a las orillas del rio Negro, desde este rio hasta su desembocadura con el rio Cunday, por este rio abajo hasta su desembocadura en el rio prado, de aquí pasando por encima de la cordillera, en dirección Norte hasta el crecimiento de la quebrada La Mata y por esta quebrada abajo lindando con el municipio de prado, hasta el frente de la desembocadura de la quebrada de Hilarco con el rio Magdalena, que es el punto de partida.<sup>1</sup>

Figura 2. Municipio Purificación Tolima



FUENTE: ALCALDIA MUNICIPAL DE PURIFICACION TOLIMA. Panorama del Valle del Magdalena [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.purificacion-tolima.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.purificacion-tolima.gov.co/informacion_general.shtml)>. [Citado el 28 de Julio de 2013]

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del Problema. Como se mencionó anteriormente la planta de tratamiento para agua del municipio está funcionando con un sobre diseño, aumentando los costos de operación y mantenimiento. Fuera de eso en

---

<sup>1</sup> ALCALDIA MUNICIPAL DE PURIFICACION TOLIMA. Panorama del Valle del Magdalena [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.purificacion-tolima.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.purificacion-tolima.gov.co/informacion_general.shtml)>. [Citado el 28 de Julio de 2013]

determinados momentos el tratamiento no es el indicado ya que el agua no cumple los requerimientos mínimos.

1.2.2. Formulación del Problema. ¿Cómo mejorar las condiciones del agua del municipio de purificación a un menor costo?

1.2.3. Sistematización. ¿Está funcionando de manera adecuada la planta de tratamiento actual de la zona?

¿Es posible encontrar un mejor modelo de funcionamiento de la planta de tratamiento?

### 1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General. Proponer una alternativa de diseño viable y eficiente a la planta de tratamiento de agua potable actual del municipio de purificación.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la alternativa más viable de operación y mantenimiento de la planta de agua potable del municipio de purificación con base en lo que está construido.
- Identificar las falencias actuales de la Ptap y corregirlas con un nuevo diseño optimizado.
- Sugerir recomendaciones a la planta actual que permitan un mejor servicio a la población.

#### 1.4. JUSTIFICACION

El agua es un elemento indispensable para el ser humano, esta tiene que ver en todas las actividades que realizamos de manera directa o indirecta, el objetivo de este trabajo es crear conciencia en las personas acerca de su importancia en nuestro día a día, y del porque se debe luchar por su conservación y preservación. Se observa como a través de los tiempos este recurso se agota y se necesita de una solución que permita mejorar las condiciones y propiedades de calidad del agua, esta es la implementación y puesta en marcha de un sistema de tratamiento para agua, antes y después de que pase por nuestras manos, pero de nada sirve si el sistema es poco eficiente, la idea es desarrollar a partir de lo que ya está construido una manera de que este funcione de mejor.

Así de este modo evitar los sobrecostos que se están presentando en el municipio.

Se tiene que tener en cuenta de que por más que se construyan obras de infraestructura en todo el mundo para satisfacer las necesidades de la población, las principales obras en las que se tiene que pensar y las que tiene que sobresalir son aquellas que van de la mano del medio ambiente y buscan mejorar sus aspectos básicos.

#### 1.5. DELIMITACION

1.5.1. Espacio. Para la realización de este trabajo fue necesario la visita técnica al municipio de purificación, así como a la planta de tratamiento para agua potable a modo de determinar la problemática de la zona, la visita por búsqueda de información técnica complementaria a la empresa R.I.Aguafilter J.f. En la ciudad de Bogotá. D.C.

El desarrollo del mismo fue en las instalaciones de la universidad así como en las casas.

1.5.2. Tiempo. Este trabajo se inició a principios de agosto del 2013 y termina el 22 de noviembre del 2013

1.5.3. Contenido. En este trabajo se encuentra el análisis de diseño de la planta de tratamiento; ubicada en el municipio purificación en el departamento de Tolima, con el fin de encontrar una mayor eficiencia, disminuyendo costos y así mejorando la calidad de vida de los habitantes de la zona.

1.5.4. Alcance. El alcance de este proyecto consiste en la elaboración de un documento técnico el cual consta de una identificación de la problemática de la zona, y donde se identifiquen las falencias del funcionamiento actual de la planta de tratamiento, así como una propuesta más eficiente que permita reducir costos en operación, mantenimiento y un mejor funcionamiento, con esto las recomendaciones pertinentes del caso. No se tiene ninguna limitación para el desarrollo del proyecto.

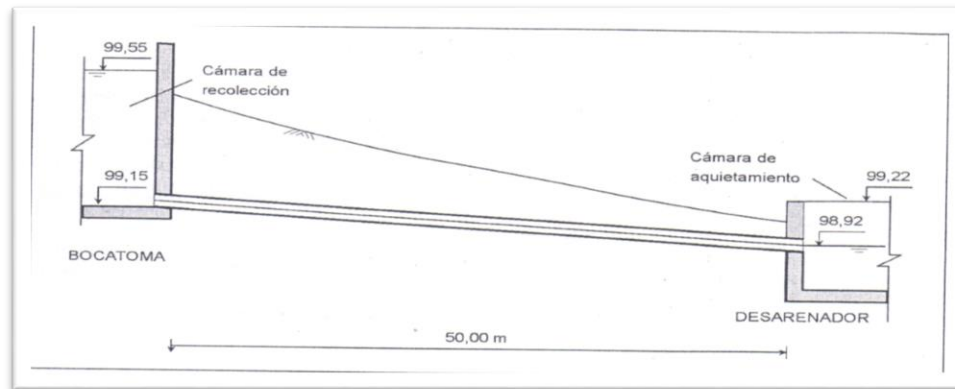
## 1.6. MARCO REFERENCIAL (TEORICO)

- **ADUCCIÓN:** La línea de aducción hace parte de un sistema de acueducto que conduce agua de la bocatoma, desde la cámara derivación hasta el Desarenador, puede ser un canal abierto o un canal cerrado (tubería). En ocasiones cuando hay épocas de largas aguas la tubería funciona a presión.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.96.

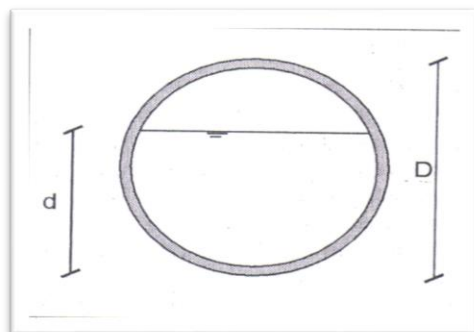
Figura 3. Aducción bocatoma – Desarenador



FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.96.

La línea de aducción se diseña para el caudal máximo diario, para un diámetro mínimo  $\varnothing=6"$ , con una velocidad ideal de 1.1 m/s. y para un rango de velocidad de 0.60 m/s a 4 m/s para evitar la sedimentación y la abrasión respectivamente.<sup>3</sup>

Figura 4. Conductos prefabricados

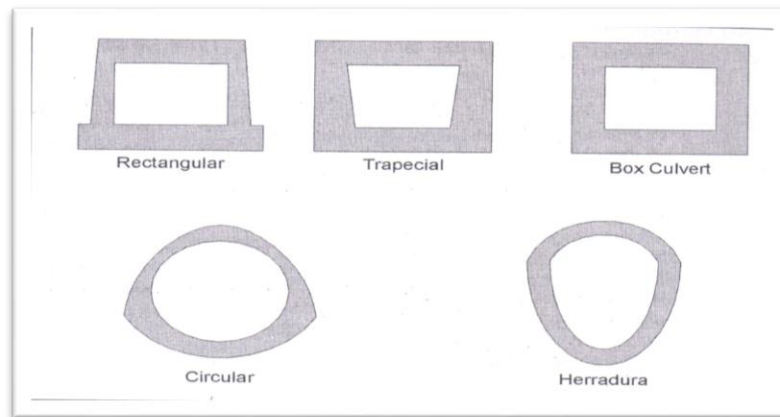


FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.97.

<sup>3</sup> LOPEZ CUALLA. Ibid. p.96.



Figura 5. Conductos cerrados construidos en sitio



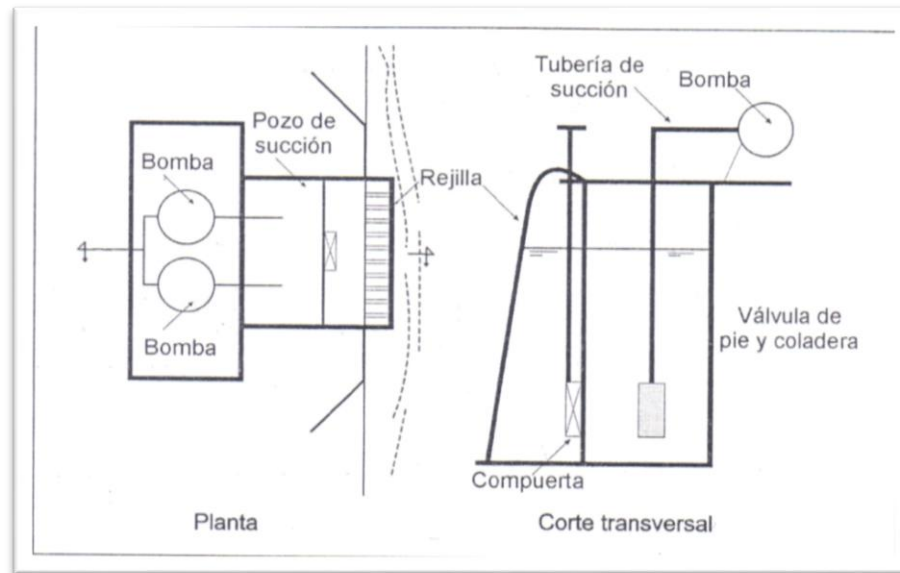
FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.97.

- BOCATOMA: La bocatoma lateral tiene una rejilla que evita el paso de elementos grandes que puedan obstruir la entrada al pozo de succión o la misma coladera de la tubería de succión, la bocatoma lateral se utiliza para ríos con caudales grandes y de una sección relativamente pequeña y el número mínimo de bombas es dos, de manera que una de ellas está en reserva.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> LOPEZ CUALLA. Ibid. p.88-93.

Figura 6. Bocatoma lateral de bombeo

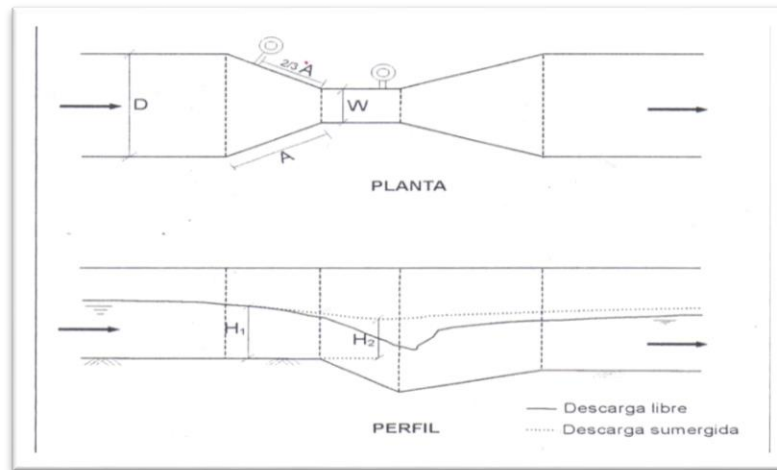


FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.90.

- **CANALETA PARSHALL:** La canaleta Parshall es muy útil en cuanto a la medición de caudal ya sea en la entrada o salida para una planta de tratamiento, es importante resaltar que la canaleta Parshall sirve también como método para la mezcla rápida de coagulantes cuando se requiera, si se mantiene en la garganta una velocidad entre 2.0 m/s y 7.0 m/s.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.54.

Figura 7. Medidor Parshall en descarga libre y sumergida. Planta y corte.



FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.54.

Tabla 1. Caudales mínimos y máximos según las dimensiones del medidor Parshall

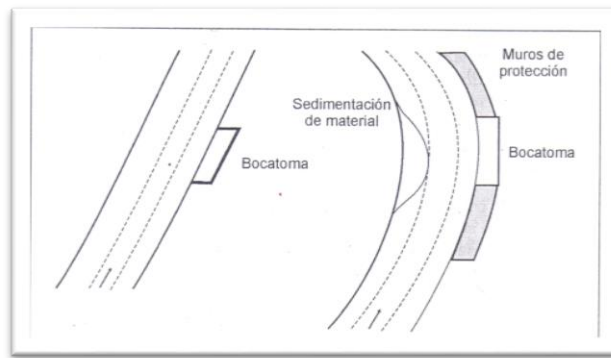
Ancho garganta		Q (L/s)	
S. inglés	Centímetros	Mínimo	Máximo
3"	7,6	0,85	53,8
6"	15,2	1,52	110,4
9"	22,9	2,55	251,9
1'	30,5	3,11	455,6
1 1/2'	45,7	4,25	696,2
2'	61,0	11,89	936,7
4'	122,0	36,79	1.921,5
6'	183,0	74,40	2.929,0
8'	244,0	130,70	3.950,0

FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.57.

- **CAPTACIÓN:** Es una estructura que tiene como objetivo captar agua de una fuente que la abastece ya sea un río un lago dependiendo de la demanda que

se necesite en general las obras de captación dependen de las características de la corriente, para seleccionar la captación adecuada es importante tener en cuenta los problemas de los sedimentos que provocan y la magnitud de los caudales a captar. Las obras de captación se clasifican como: Captaciones laterales, Captaciones de fondo o sumergidas, Captación por lecho filtrante, Estaciones de bombeo, Captación por torre-toma en corrientes con regulación, Captación por sifón en corrientes con regulación, Captación en fuentes subterráneas.<sup>67</sup>

Figura 8. Captación en corrientes superficiales. Bocatoma en recta y en curva

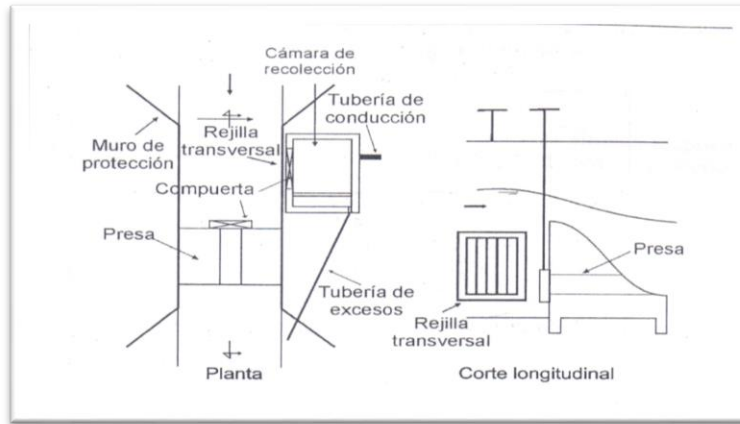


FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.101.

<sup>6</sup> SALAZAR LEON, Juan camilo. Estructuras de Captación [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://es.scribd.com/doc/62506469/ESTRUCTURAS-DE-CAPTACION>>. [Citado el 15 de Agosto de 2013]

<sup>7</sup> LOPEZ CUALLA. Op Cit. p.85-128.

Figura 9. Bocatoma con muro transversal



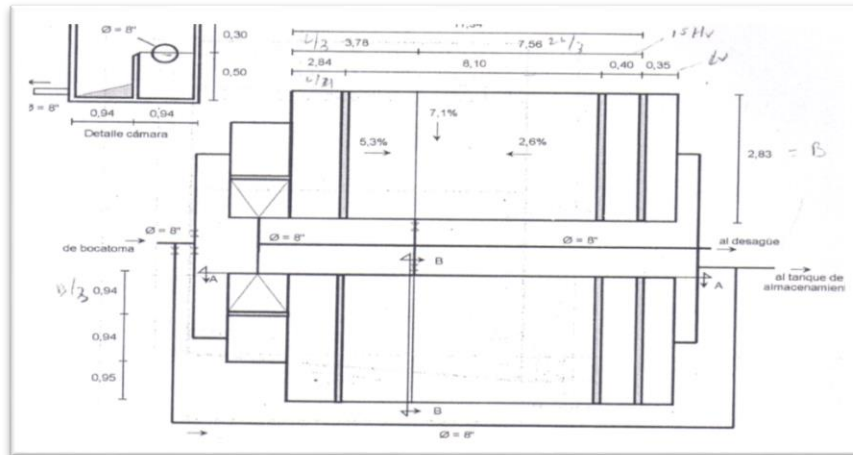
FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.186.

- **CLORACIÓN:** Generalmente el cloro se lleva a cabo después de la filtración, el cloro se agrega cuando el agua entra a un depósito cualquiera que sea el método implementado, el cloro o la sustancia liberadora de cloro debe estar en contacto con el agua por lo menos 30 minutos, este tiempo de contacto del cloro con el agua se define como la diferencia en que se agrega el cloro hasta que llega al primer consumidor de la red de distribución, el trabajo del inspector sanitario no es solo verificar que se está llevando a cabo la cloración si no también determinar si es continua la cloración, y si el equipo de dosificador funciona con su total capacidad, y que si está liberando suficiente compuesto de cloro para que dure hasta que llegue la siguiente remesa, se recomienda llevar registros de la cloración de forma diaria.<sup>8</sup>
- **DESARENADOR:** Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño como arenas y sólidos que la captación de una fuente superficial permite pasar. Se utilizan en tomas para acueductos, en centrales hidroeléctricas (pequeñas), plantas de

<sup>8</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.60.

tratamiento y en sistemas industriales, en nuestro caso en una planta de tratamiento.<sup>910</sup>

Figura 10. Ejemplo de un Desarenador en planta



FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.186.

<sup>9</sup> LOPEZ CUALLA. Op Cit. p.181-192.

<sup>10</sup> BUSTAMANTE ESTRADA, María. Obras Hidráulicas [En Línea]. Disponible en Internet: < <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html>>. [Citado el 28 de Noviembre de 2013]



TIPOS DE DESARENADORES: Tipo Detritus (son los más conocidos y utilizados).

- CONVENCIONAL: Es de flujo horizontal, el más utilizado en nuestro medio. Las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. Son generalmente de forma rectangular y alargada. La parte esencial de estos es el volumen útil donde ocurre la sedimentación.
- DESARENADORES DE FLUJO VERTICAL: El flujo se efectúa desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube. Pueden ser de formas muy diferentes: circulares, cuadrados o rectangulares.
- DESARENADORES DE ALTA RATA: Consisten básicamente en un conjunto de tubos circulares, cuadrados o hexagonales o simplemente láminas planas paralelas. Este tipo de Desarenador permite cargas superficiales mayores que las generalmente usadas para desarenadores convencionales y por tanto éste es más funcional, ocupa menos espacio, es más económico y más eficiente.<sup>11</sup>
- DESINFECTANTES QUÍMICOS: Yodo en los últimos años se ha hablado mucho acerca del yodo como una alternativa para el cloro, realizando una serie de estudios sobre la yodación por parte de Chang y Morris. El (I<sub>2</sub>) es el halógeno con mayor peso atómico, también resulta ser el más estable ya que tiene un bajo poder de oxidación, el yodo como el cloro al mezclarse con el agua se disocia formando ácido hipoyodoso HOI.<sup>12</sup>

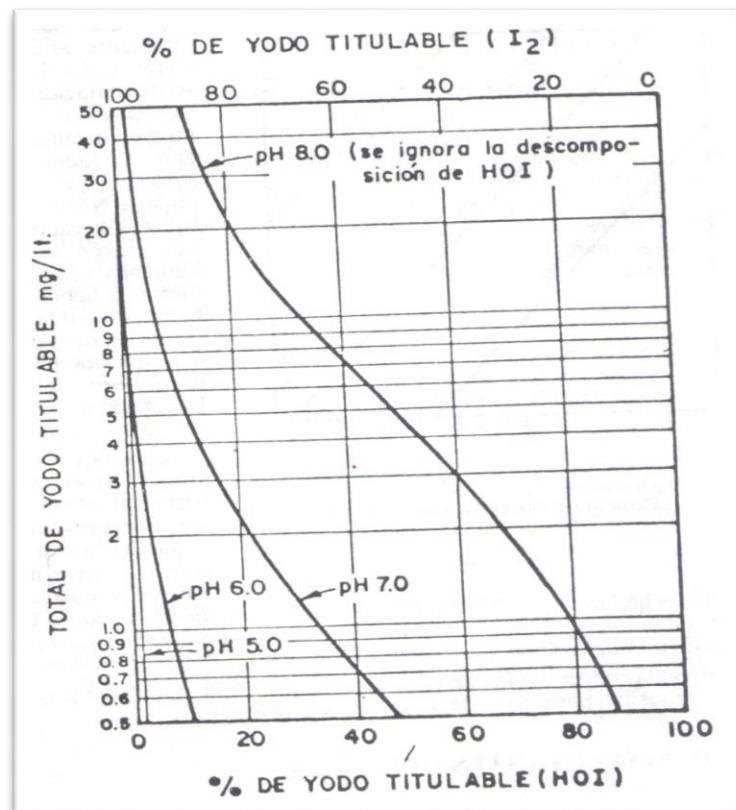
---

<sup>11</sup> BUSTAMANTE ESTRADA. *Ibíd.* [Citado el 29 de Noviembre de 2013]

<sup>12</sup> ARBOLEDA VALENCIA. *Op Cit.* p.564.



Figura 13. Distribución de  $I_2$  y HOI a 20°C y a los pH indicados (según Chang)

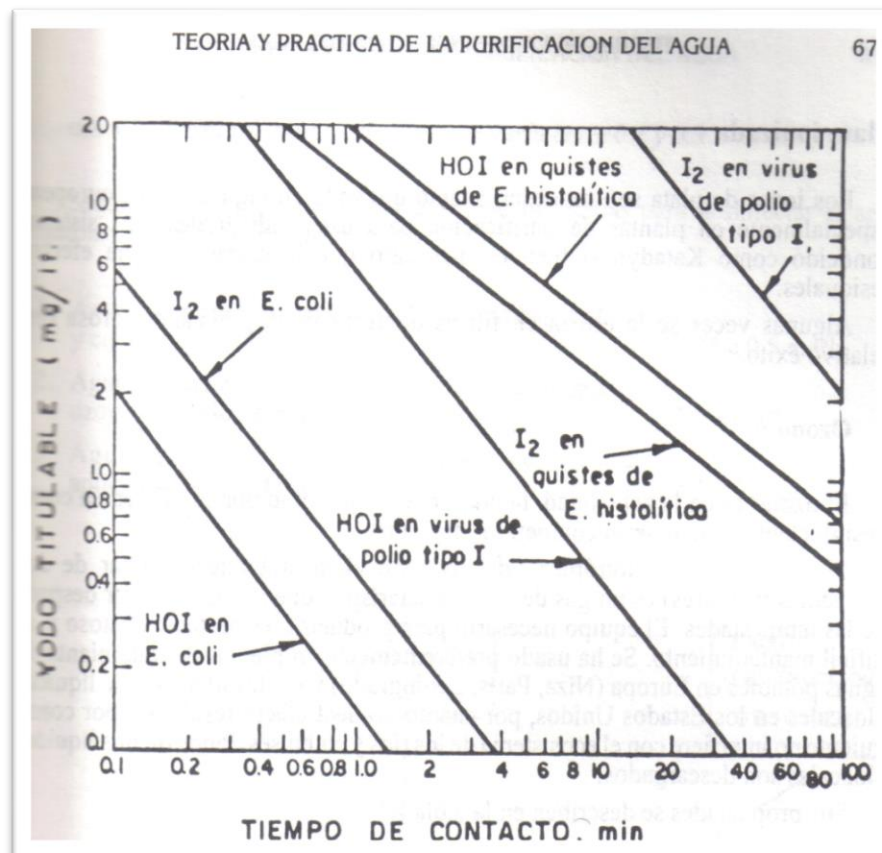


FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.554.

El problema en su uso es el precio ya que el yodo es muchas veces más costoso que el cloro, otro aspecto negativo es que se desconoce los efectos fisiológicos que se pueda generar su ingestión continua, por ello hasta el momento el yodo se sigue utilizando para la desinfección en piscinas y para emergencias.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> ARBOLEDA VALENCIA. Op Cit. p.554.

Figura 14. Relación concentración-tiempo para destruir el 99.9% de los microorganismos con I<sub>2</sub> y HOI a 18°C



FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.557.

- **PLATA IONIZADA:** Estos iones de platas son utilizadas en países Europeos, para la desinfección en plantas de purificación para usos industriales, pero este sistema Kata dyn es más caro que la cloración.
- **OZONO:** Por su costo y eficiencia se puede decir que el ozono es el mayor competidor del cloro, el ozono es la forma alotrópica del oxígeno elemental que en lugar de dos moléculas tiene tres, es usado en Plantas de tratamiento de agua potable en Europa (Niza, París, Leningrado), y en desinfección de líquidos

cloacales en los Estados Unidos, el ozono se genera cuando pasa el aire seco entre los electrodos de un generador.<sup>14</sup>

Tabla 2. Propiedades del ozono

Peso molecular	48
Densidad gr/l	2,144
Punto de ebullición°C	- 112.6
Punto de congelación°C	- 249.7

FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.558.

Según la teoría de Harris, La dosis de ozono para la desinfección depende cambia según la calidad del agua.

Para aguas subterráneas de buena calidad con baja turbiedad y contenido mineral. 0.25 a 0.5 mg/L.

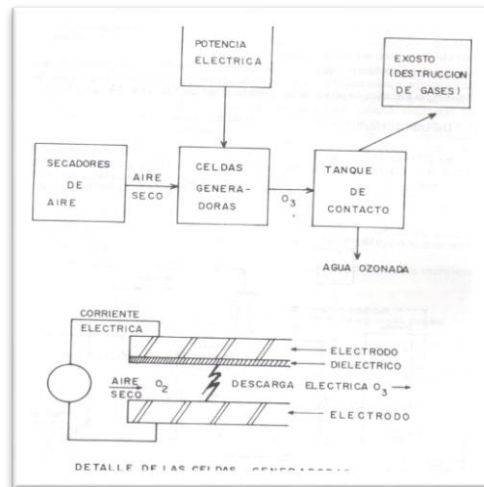
Aguas superficiales de buena calidad bacteriológica y el ozono aplicado después de la filtración 2 a 4 mg/L.

Aguas superficiales contaminadas y con el ozono aplicado después de la filtración 2.5 a 5 mg/L

---

<sup>14</sup> ARBOLEDA VALENCIA. Op Cit. p.223

Figura 15. Generación de ozono

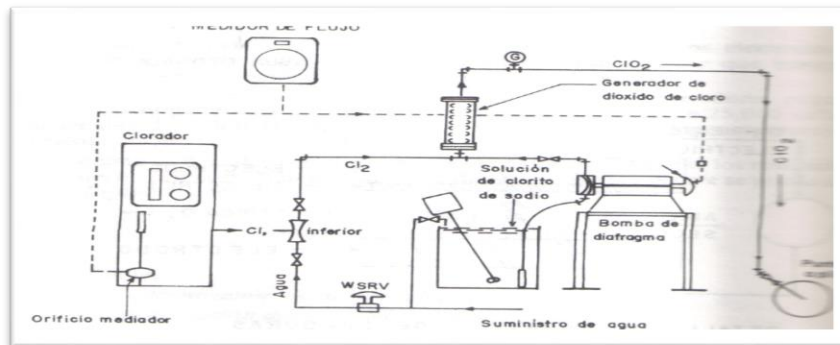


FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.230.

- **DIÓXIDO DE CLORO:** Es un gas descubierto por Davy (1778-1829) al hacer reaccionar el ácido sulfúrico o clorhídrico con el clorato de potasio, el gas debe ser producido en el sitio de aplicación ya que tiene una altamente explosivo y no se puede transportar.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> ARBOLEDA VALENCIA. Op Cit. p.230.

Figura 16. Aplicación de Dióxido de cloro



FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.230.

Para cada tipo de microorganismo que se quiera eliminar cada desinfectante químico actúa diferente por lo cual se tienen unos tiempos de contacto estimados.

Actividad germicida de los desinfectantes químicos.<sup>16</sup>

Tabla 3. Concentración en mg/l requerida para matar o inactivar 99% de los organismos listados en 10 min a 5°C (según Morris)

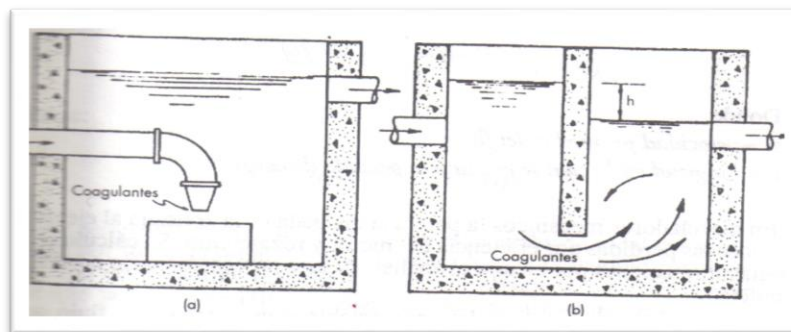
Desinfectante	Bacterias entéricas	Tipo de organismo		
		Quistes de amibas	Virus	Esporas bacterianas
$I_2$	---	3.7	6.3	---
$O_3$	0.01	1.0	0.10	0.20
$ClO_2$ (pH 6-7)	0.4 - 0.75	---	0.2 - 6.7	---
$HOCl$ como $Cl_2$	0.02	10	a 0.40	10
$OCl^-$ como $Cl_2$	2	10	>20	>10
$NH_2Cl$ como $Cl_2$	5	20	$10^3$	$4 \times 10^3$
$Cl$ libre, pH 7.5	0.04	20	0.8	20
$Cl$ libre, pH 8	0.1	50	2	50

FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.231.

<sup>16</sup> ARBOLEDA VALENCIA. Op Cit. p.231.

- **MEZCLA RÁPIDA:** En plantas de tratamiento la mezcla rápida se puede elaborar de dos maneras, con mezclador de flujo de pistón o con retro mezcladores.
- **MEZCLADOR CON FLUJO DE PISTÓN:** Estos mezcladores pueden ser de dos tipos: hidráulicos y mecánicos. Los hidráulicos son: Resalto hidráulico, canaleta Parshall, vertederos, mezcladores estáticos de inserción, y difusores, y los mecánicos son: mezcladores en línea y retro mezcladores de turbina.
- **RETRO MEZCLADORES:** Se puede apreciar en la gráfica dos tipos de retro mezcladores, en el caso a vemos dos cámaras con la inyección de coagulantes al centro de eje de rotación de la turbina, y en el segundo caso se diseñó una cámara alta con tabiques horizontales con inyección de coagulantes en el fondo, los periodos de retención nominal se hace de 10-60 segundos o de 30-45 segundos.<sup>17</sup>

Figura 17. Retro mezcladores hidráulicos



FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.326

<sup>17</sup> ARBOLEDA VALENCIA. Op Cit. p.326.

- **FILTRACIÓN:** Los sistemas de filtración tienen como objetivo retirar los contaminantes, bacterias o virus que trae el agua pasándola a través de lechos filtrantes conformados por material granular, en la filtración lenta en arena no tienen fase de coagulación y, usualmente, tampoco tienen un paso de sedimentación. Se induce el paso lento y descendente del agua a través de un lecho de arena. La mayoría de los sistemas de filtración usan el “retro lavado” para limpiar el sistema. Esto produce aguas de desecho que se deben manejar adecuadamente.<sup>18</sup>

Tabla 4. Clasificación de los filtros

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos 120-360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	1. Arena (h=60-75 cm) 2. Antracita (h=60-75 cm) 3. Mixtos: Antracita (35-50 cm) Arena (20-35 cm) 4. Mixtos: Arena, Antracita, Granate	Ascendentes  Descendentes  Flujo Mixto	Por gravedad  Por presión
Lentos 7-14 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	Arena (h=60-100 cm)	Descendente Ascendente Horizontal	Por gravedad

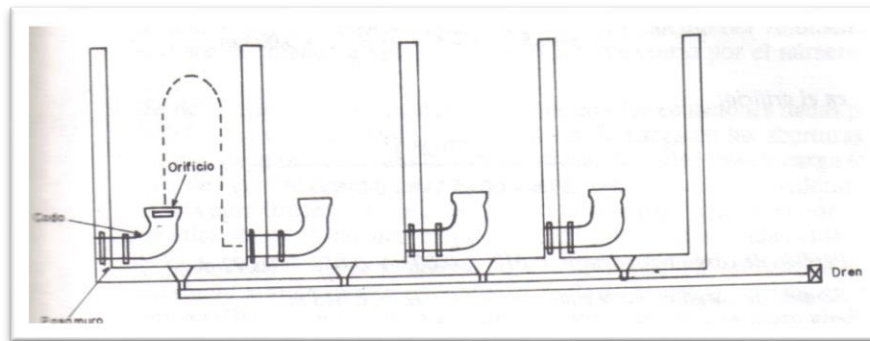
FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.327.

- **FLOCULADOR:** El Floculador tiene como objetivo generar flócs a partir de una agitación lenta ya sea mecánico o hidráulico, en la agitación hidráulica. Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, las unidades de pantallas de flujo horizontal y vertical, las de medios porosos, la de tipo Alabama y Cox, y los floculadores de mallas. En la agitación mecánica tenemos agitador vertical y agitador horizontal.
- **FLOCULADOR TIPO ALABAMA:** El tipo Alabama está conformado por cámaras en las cuales llevan un codo que impulsan el agua hacia arriba la cual vuelve a ser tomada en el fondo, estos codos son ubicados alternadamente el primero a la derecha el que sigue a la izquierda para que no se genere un corto circuito , se puede decir que es un Floculador vertical sin tabiques vertederos y

<sup>18</sup> GLOBAL HEALTH AND EDUCATION FOUNDATION. Sistemas de Filtración [En Línea]. Disponible en Internet: < <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>>. [Citado el 03 de Agosto de 2013]

se puede calcular de esa manera , el mínimo de cámaras es de 9 pero se recomiendan 12 , la velocidad en el codo está entre 0.40 y 0.20 m/s, para evitar rotura en el floc, en el extremo de los codos se ubica una platina que se puede cambiar, cuando se requiera cambiar el gradiente.<sup>19</sup>

Figura 18. Floculador tipo Alabama



FUENTE: ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, p.365.

- **SEDIMENTADOR TIPO COLMENA:** El sistema es mucho más versátil que las tradicionales Placas Planas, ya que este es aplicable a plantas de tratamiento de todos los tamaños desde fincas, condominios, municipios hasta ciudades capitales, aumentando la capacidad del decantador en más de un 200%. Su construcción, se hace sobre medidas sin importar la forma del decantador ya sea circular o rectangular, evitando regirse por un patrón de medida estándar que incurre por lo general en sobrecostos. La experiencia nos dice que es mucho más rápida la decantación de un agua cargada de materias en suspensión dentro de un tubo que tiene cierta inclinación sobre la línea horizontal, que dentro de un tubo colocado verticalmente.

El diseño permite obtener una decantación ordenada y dirigida, acelerando la precipitación de los fangos en una altura mínima, logrando cargas superficiales del orden de 120 a 300 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>/ día, con eficiencias de remoción superiores al

<sup>19</sup> ARBOLEDA VALENCIA. Op Cit. p.365.



90%. Por su forma compacta tipo panal se acopla fácilmente a las características geométricas de cualquier decantador, pudiéndose ensamblar en diferentes tamaños y formas sin desperdiciar materia y tiempo que se ven reflejados en dinero.

- **TANQUE REGULADOR:** La construcción de un tanque regulador se lleva a cabo por la variación de la demanda que se presentan a distintas horas del día, como se indicó anteriormente el consumo de agua no es constante, por lo tanto es necesario un tanque regulador que amortigüe las demandas horarias.

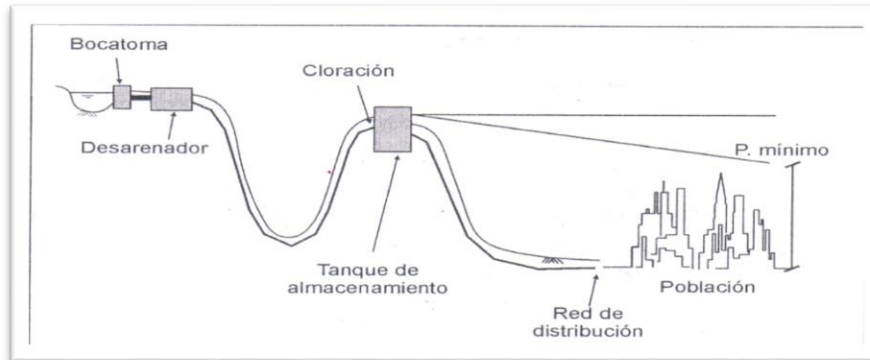
La función del tanque es almacenar agua cuando la demanda es menor que el suministro, para que de este modo en casos de que la demanda sea mayor se pueda completar el déficit con el agua que se almacena, entonces se puede decir que las funciones principales de un tanque regulador son: compensar los cambios del consumo de agua durante el día, tener una reserva de agua para los casos de incendio, o alguna emergencia, y por último dar una presión adecuada a la red de distribución en la población.<sup>20</sup>

- **TANQUE DE DISTRIBUCIÓN:** Cuando el agua llega primero al tanque antes de llegar a la población se tendrá un tanque de distribución

---

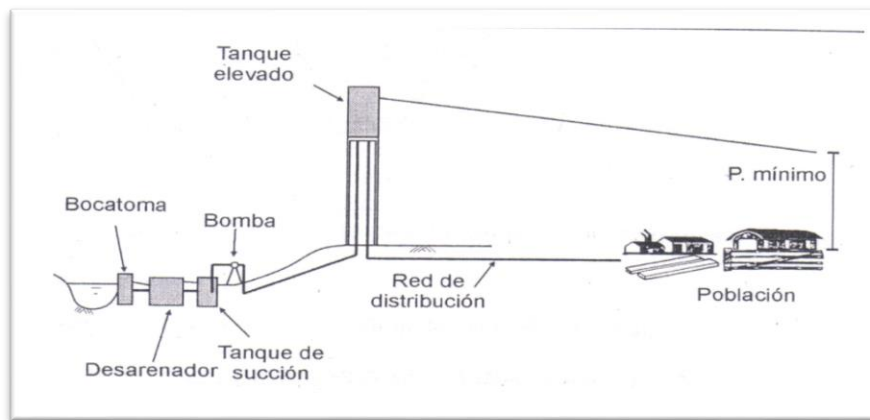
<sup>20</sup> LOPEZ CUALLA. Op Cit. p.261.

Figura 19. Tanque de distribución superficial



FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.260.

Figura 20. Tanque de distribución elevado

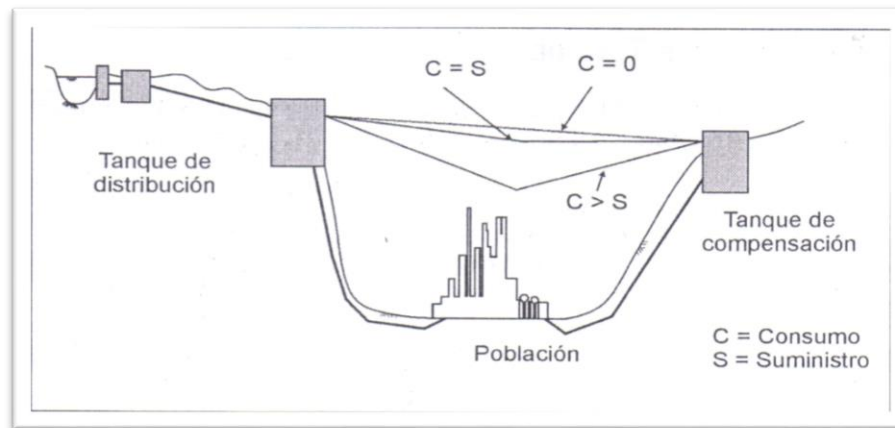


FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.261.

- **TANQUE DE COMPENSACIÓN:** El tanque se ubica en el extremo opuesto de la entrada de agua a la red de distribución, cuando no hay consumo todo el agua llega al tanque de compensación, cuando el consumo y el suministro son iguales

no entra ni sale el agua del tanque, y por ultimo cuando el consumo es mayor que el suministro se surtirá a la población tanto por la línea directa como por el tanque de compensación.<sup>21</sup>

Figura 21. Tanque de distribución y de compensación superficial



FUENTE: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. p.261

## 1.7. MARCO CONCEPTUAL

En la fuente de abastecimiento es importante que el caudal supere el caudal de diseño en cualquier época del año.

El caudal de diseño para la bocatoma corresponde al caudal máximo diario

La línea de aducción se diseña para el caudal máximo diario, para un diámetro mínimo  $\varnothing=6''$ .

Para efectos de diseño del acueducto en la aducción, el transporte de agua depende del tipo de agua que se transporta.

<sup>21</sup> LOPEZ CUALLA. Op Cit. p.261.

La planta no tiene sistema de aireación debido a que no lo requiere, la aireación nos sirve cuando el agua presenta contenido de hierro, calcio, manganeso

En el Desarenador por medio de la acción de la gravedad se sedimentan las partículas.

Es recomendable tener dos módulos en el Desarenador que funcionen en paralelo

La canaleta Parshall nos sirve como una mezcla rápida para el coagulante si se mantiene en la garganta una velocidad entre 2.0 m/s y 7.0 m/s.

En el Sedimentador toda partícula será removida si tiene velocidad de sedimentación crítica ( $V_s \geq V_o$ ).

## 1.8. METODOLOGÍA

1.8.1. Tipo de Estudio. Hacer una investigación acerca de que es y cómo funciona una planta de tratamiento de agua potable (PTAP), que es el tema a analizar.

Analizar la planta en cuestión, haciendo una visita previa.

Recopilación de datos, para los dimensionamientos de todo el sistema de la PTAP como lo es la Canaleta Parshall, Floculador tipo Alabama, Sedimentador tipo colmena, filtros.

Analizar todo su diseño en la actualidad para determinar posteriormente todas sus falencias.

Diseñar nuevo de la (PTAP) a partir de lo que ya está construido, verificando que cumpla con todas las especificaciones para que de esta manera sea optima, y pueda brindar un mejor servicio.

1.8.2. Fuentes de Información. Recopilación de información de la planta a estudiar del municipio de purificación, por parte del personal técnico que la administra.

Revisión y aplicación de los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera y específicamente en el curso de plantas de tratamiento para agua potable y agua residual.

Consulta técnica a la empresa R.I.Aguafilter J.f Ltda. Sobre potabilización del agua.

Consulta teórica en libros y documentos referentes al tema. Véase Bibliografía.

## 1.9. DISEÑO METODOLÓGICO

Por medio de una investigación previa se realizarán estudios sobre la planta de tratamiento en cuestión y el diseño nuevo, comenzando por estudiar algunos

Parámetros del agua como pureza, alcalinidad, conductividad, dureza etc. Luego se entregarán memorias de cálculo en las cuales se incluye el diseño de la bocatoma lateral por bombeo la línea de aducción que conduce el agua al Desarenador ,la canaleta Parshall que es utilizada como mezcla rápida del sulfato de aluminio tipo B, el Floculador tipo Alabama, Sedimentador tipo colmena, filtro y por último la cloración. Con el objetivo de mejorar la eficiencia de la planta.

## 2. CALIDAD DEL AGUA

### 2.1. ESTADO INICIAL.

En cuanto a la calidad de agua a tratar, son descritos principalmente parámetros como color ,sólidos en suspensión, turbidez, población microbiológica, los cuales sobrepasan los niveles máximos establecidos por las normas del Ministerio de Salud para calidad grado “agua potable”.

En la planta de tratamiento el agua cruda es sometida a todos los procesos de potabilización por separado como son: Desinfección, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración y lavado.

Tabla 5. Comparación de la calidad del agua en el municipio de purificación 1992-2007

CORRIENTE	MUNICIPIO	DPTO	Sedimentos													
			Cd	Cd	Cr	Cr	Cu	Cu	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn	Hg	Hg
			(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)	(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)	(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)	(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)	(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)	(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)	(mg/Kg) (1)	(mg/Kg) (2)
Magdalena	Purificación	Tolima	0,87	1,04	2,89	6	6,73	23	3,24	12	6,18	12	19,7	43	0,078	0,112

(1) : Datos del presente trabajo

(sed. Fondo)

(2) : Datos de muestreo hace 15 años

(sed. Suspensión)

FUENTE: IDEAM. Nueva Medición de la Calidad de Agua en los Ríos Magdalena y Cauca [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Ambiental/Publicacion%20Convenio.pdf>>. [Citado el 29 de Septiembre de 2013]

Contenido de:

Cd: Cadmio

Cu: Cobre

Cr: Cromo

Ni: Níquel

Pb: Plomo

Zn: Zinc

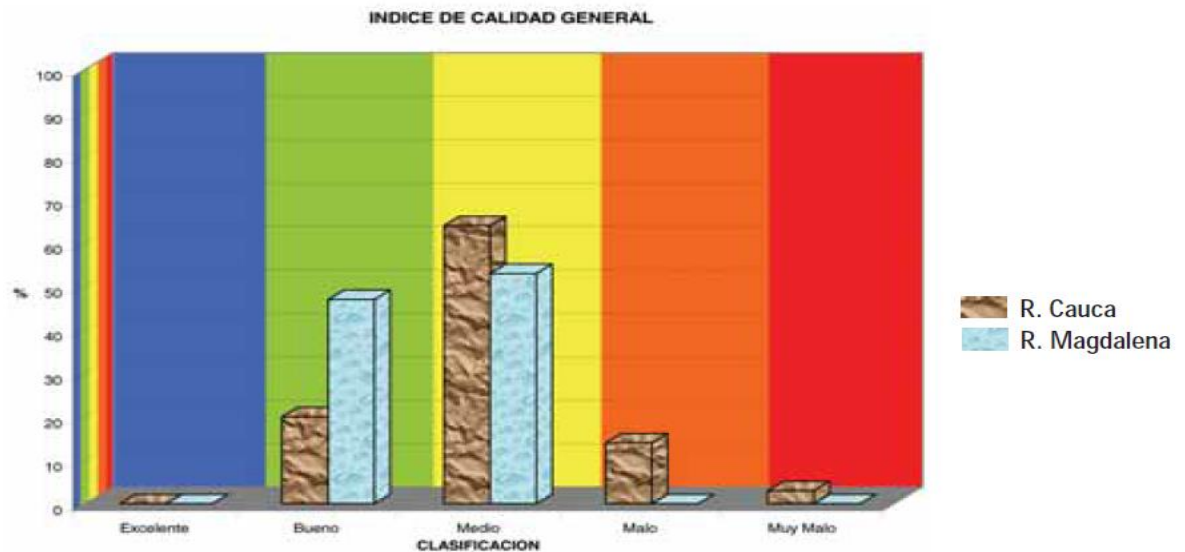
Hg: Mercurio

Tabla 6. Análisis del laboratorio

material elem.	Roca Umáfica (mg/kg)†	Roca Máfica (mg/kg)†	Roca granitic (mg/kg)†	Roca Sedimentaria Carbonatada (mg/kg)†	Roca Sedimentaria Arenisca- cuarcita† (mg/kg)	Roca Sedimentaria Shale (mg/kg)†	Suelos no cultivados (mg/kg)†	Sedimentos de fondo Magdalena (mg/kg)	Sedimentos de fondo del Cauca (mg/kg)
Mercurio	0,004	0,01	0,04	0,04	0,03	0,02-0,4	0,056	0,05-0,29* <b>0,091 **</b>	0,061-3,6 <b>0,309**</b>
Cadmio	—	0,2	0,1	0,05	0,0	0,3	0,1-0,3	0,41-3,96* <b>1,70 **</b>	0,77-3,99* <b>2,07 **</b>
Cromo	2980	170	4,1	11	35	90	43	1,95-12,3* <b>4,44 **</b>	2,02-19,8* <b>12,1 **</b>
Cobre	42	72	12	5	10	42	15	4,93-32* <b>11,02 **</b>	7,7-49,5* <b>31,3 **</b>
Níquel	2000	130	4,5	20	2	68	17	2,38-14,3* <b>6,87 **</b>	0,88-74* <b>13 **</b>
Plomo	1	4	18	5	10	25	17	2,96-29,3* <b>8,0 **</b>	3,56-80* <b>15 **</b>
Cinc	58	94	51	21	40	100	36	14,6-87,3* <b>42,66 **</b>	8,9-131* <b>49,5 **</b>

FUENTE: IDEAM. Nueva Medición de la Calidad de Agua en los Ríos Magdalena y Cauca [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Ambiental/Publicacion%20Convenio.pdf>>. [Citado el 29 de Septiembre de 2013]

Figura 22. Índice de calidad general



FUENTE: IDEAM. Nueva Medición de la Calidad de Agua en los Ríos Magdalena y Cauca [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Ambiental/Publicacion%20Convenio.pdf>>. [Citado el 29 de Septiembre de 2013]

2.1.1. Captación. La captación se hace directamente del río Magdalena, mediante una bocatoma lateral por bombeo.

Figura 23. Bocatoma lateral por bombeo



Foto, Fuente: Autores



Figura 24. Cuarto de bombas



Foto, Fuente: Autores

2.1.2. Aplicación de productos químicos y mezcla rápida. Son utilizadas dos dosificadoras de tipo mecánico las cuales se alternan.

Figura 25. Coagulación



Foto, Fuente: Autores

2.1.2.1. Para la coagulación. Los químicos que se están utilizando son Sulfato de aluminio Tipo B granulado, con una concentración del 17.5% en promedio entre 13 y 40cm<sup>3</sup>/l de agua cruda.

Se utiliza un dosificador mecánico y cuando hay problemas de pH muy bajos se utiliza soda caustica liquida para estabilizarlo. Para la mezcla del sulfato de aluminio tipo B se utiliza un dosificador mecánico, cuyo químico es mezclado en una canaleta Parshall.

Figura 26. Canaleta Parshall



Foto, Fuente: Autores

### Figura 27. Sulfato de aluminio



Foto, Fuente: Autores

2.1.3. Sistema de aireación. La planta no tiene sistema de aireación debido a que no lo requiere, la aireación nos sirve cuando el agua presenta contenido de hierro, calcio, manganeso. Etc.

Debido a que el agua es captada del río Magdalena y este no tiene estos minerales en grandes cantidades no se requiere de un sistema de aireación.

2.1.4. Mezcla Lenta. El Floculador utilizado es de tipo Alabama, conformado por 21 cámaras de floculación, conectadas a los Sedimentadores por un canal en concreto de 10.27m de longitud y 0.7m de ancho, allí en el trayecto es donde se realiza la coagulación y se forma el floc cuando se produce el intercambio iónico.

Figura 28. Canal de concreto que conecta la floculación con los Sedimentadores



Foto, Fuente: Autores

2.1.5. Sedimentadores. Con 3 tanques Sedimentadores de 16.3m de largo, 4m de ancho, y una profundidad de 3.4m, para una capacidad de 221m<sup>3</sup> cada uno; módulos tipo colmena para la retención del floc y cubiertos con poli sombra para evitar que los rayos del sol lleguen directamente al agua y aumenten el levantamiento del floc.

El agua sedimentada es recolectada por un canal que conecta a los filtros por medio de dos válvulas de fondo de 6”.

Figura 29. Panorámica Filtros y Sedimentadores



Foto, Fuente: Autores

2.1.6. Filtración. Cada Sedimentador cuenta con un filtro, (en total 3 filtros) de operación descendente rápida con un área filtrante de 3m \* 3.59m (10.77m<sup>2</sup>).

Falso fondo de 40cm de altura, lecho de 100 cm conformado por grava ¾" a ½", grava ½" a ¼", grava ¼" a 1/8", grava 1/8" a malla 10, arena 12-20, arena 20-30 y antracita. De operación manual y retro lavado ascendente con agua tratada, con dos alternativas. Lavado con tanque elevado y tubería de 4", conectada a la "red vieja" conectada a tubería de 10" y controlada por válvulas de sello de 10" galvanizado. El lavado superficial se realiza manualmente con agua filtrada a presión, mediante manguera por medio de una bomba de 350 RPM. Accionada por un motor de 6 HP.

Se realiza un lavado cada 24h, pero esto también depende de la calidad en que se encuentra el agua al momento de llegar. A veces se realiza cada 8 días. Posteriormente se encuentra un tanque recolector de agua filtrada de 14.7m de largo, 1.6m de ancho y 1.12m de altura. Y 2 tuberías de 8" que se encargan de transportar el agua filtrada al tanque de desinfección

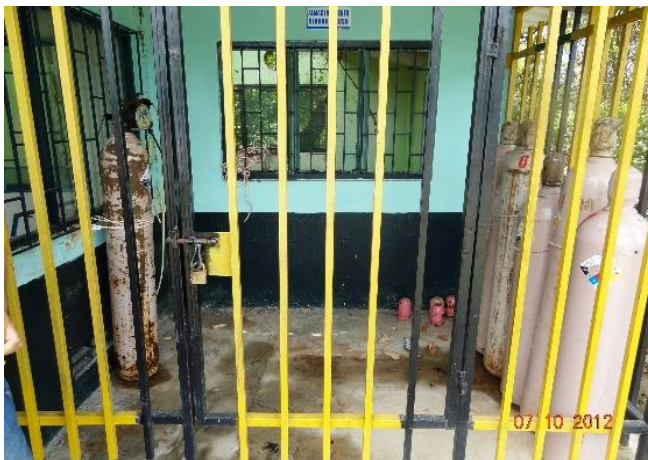
Figura 30. Filtración



Foto, Fuente: Autores

2.1.7. Desinfección. Actualmente se aplica cloro gaseoso.

Figura 31. Cuarto de cloro gaseoso



Foto, Fuente: Autores

2.1.8. Cloración. Se realiza en un tanque enterrado de 13m de largo, 4m de ancho y 2.4 de altura. Donde se aplica cloro gaseoso manejado en balas de 68k. El promedio de cloro residual en planta es de 2.0 ppm para un consumo diario de 13.6lb.



2.1.9. Costos de Operación. Actualmente trabajan 4 operarios de planta y 2 dominicales, ellos se turnan y prestan junto con la operación el trabajo de seguridad de la planta.

Se les paga un salario y todas las prestaciones sociales

$\$670.000 \times 1.54 = \$1.031.800$

También hay un jefe de planta \$ 1.800.000 y jefe de mantenimiento \$ 1.200.000

El consumo energético es de 160A Aproximadamente

Químicos Utilizados

Sulfato de aluminio tipo B X 50kg = \$45.000

Soda caustica liquida al 49% de concentración x 25kg = \$35.000

Bala de cloro gaseoso 68Kg = \$260.000

2.1.9. Almacenamiento. Luego de que el agua es tratada se almacena en 2 tanques, para posteriormente ser conducida al municipio.

Figura 32. Tanque de almacenamiento



Foto, Fuente: Autores

## 2.2. EVALUACIÓN DE LA PTAP, MEMORIAS DE CÁLCULO

### Diseño

#### Canaleta Parshall

##### Datos de Entrada

<b>Q=</b>	0,1 l/s		
<b>W=</b>	6 "		
	0,2 m		
<b>D=</b>	0,4 Tabla	m	
<b>N=</b>	0,1 Tabla	m	
<b>G=</b>	0,6 Tabla	m	
<b>C=</b>	0,4 Tabla	m	
<b>A=</b>	0,6 Tabla	m	

$$w' = \frac{2}{3} (D - W) + W$$

1  $w' = 0,319 \text{ m}$

$$H_a = \sqrt[1.58]{\frac{Q}{0.381}}$$

2  $H_a = 0,342 \text{ m}$

$$V_a = \frac{Q}{w' * H_a}$$

3  $V_a = 0,641 \text{ m/s}$

$$E_a = \frac{V_a^2}{2 * g} + H_a + N$$

4  $E_a = 0,477 \text{ m}$

$$V_b = \frac{Q}{WH_b}$$

$$E_b = \frac{V_b^2}{2g} + H_b$$



5	Hb=	0,337 m	Hb Asumido	0,3373349
			3E-07	
6	Eb=	0,456 m		
	Vb=	1,365 m/s		

$$Nfb = \frac{Vb^2}{\sqrt{g * Hb}}$$

7                      NFb=      1,025

8                       $\frac{H2}{Hb} = \frac{1}{2} * (\sqrt{1 + 8 * Nfb^2} - 1)$

H2=      0,180 m

H2>Ha

no cumple

9      Tiempo de Resalto

$$t = \frac{G}{Vm}$$

$$Vm = \frac{V2 + Vc}{2}$$

$$V2 = \frac{Q}{W * H2}$$

$$Vc = \frac{Q}{H2C}$$

Vc=	0,989 m/s
V2=	2,563 m/s
Vm=	1,776 m/s
t=	0,344 s

Tiempo  
Aprox 1s

O.K

10                      Δh= Figura 2.8

Δh=      0,14 cm

11

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu d * t}}$$

Gradiente  
entre 1000  
y 2000

Peso Especifico del agua	9810	N/m3
--------------------------	------	------

Viscosidad Dinamica	0,0008172	Pa*s	no cumple
---------------------	-----------	------	-----------

$$G = 759,848 \text{ } S^{-1}$$

12

sumergencia
$S = \frac{H^2}{Hb - N}$

$$S = 0,805 \%$$

# Sedimentador Colmena a 60°

Checkeo

Datos de Entrada

Q=	0,07	l/s	Sen60	0,866
# Sedimentadores	3		Cos60	0,500
Largo=	16,3	m		
Ancho=	4	m		
Profundidad=	3,4	m		
Sc-Colmena=	1,33			
Inclinacion=	60	°		

## 1 Carga de cada sedimentador

Q/#Sedimentadores= 0,0233333 m3/s

$$CS = \frac{Q}{A}$$

CS= 0,000358 m/s

30,920245 m/d

CS entre 60 y 400 m/d

## 2 Velocidad Ascendente

no cumple

$$VSC = \frac{SCVo}{\sin\theta + (LR\cos\theta)}$$

$$Lr = \frac{L}{a} = 20 \text{ condicion ideal}$$

Vo=	0,0029	m/s
	0,270	cm/s

Vo < 1cm/s

O.K

## 3 Area Lamelas

$$AS = \frac{Q}{Vo\sin\theta}$$

As= 9,215 m2

4 Velocidad Lamelas

$$As = L \cdot B$$

$$L = 2,30 \text{ m}$$

5 Espaciamiento entre lamelas



$$\sin 60 = CO/H$$

$$H = 3,926 \text{ m}$$

$$e = 0,196$$

6 Numero de lamelas

$$L/e = \frac{11,74}{13}$$

7 Tiempo de retencion lamela

$$L/V_o = \frac{1342,8 \text{ s}}{22,379 \text{ min}}$$

$$t < 15 \text{ min}$$

O.K

8 Correccion de la longitud relativa

$$L'R = 0.013NR$$

$$NR = \frac{Ve}{\nu c}$$

$$NR < 500$$

O.K

$$NR = 671,27$$

Viscosidad Cinematica

$$0 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L'R = 8,727$$

$$L'R \leq \frac{LR}{2} = L'RC = LR - L'R$$

# Floculador Tipo Alabama

Checkeo

## Datos de Entrada

Q=	0,07	l/s
Camaras=	21	
periodo de detencion $\theta$ =	18	min
Largo=	1,5	
Ancho=	1	
Profundidad=	1	
$\phi$ Orificio=	18	"
	0,4572	m
$\phi$ Tuberia=	16	"
	0,4064	m
Area Orificio=	0,164	m <sup>2</sup>
Area Tubo=	0,130	m <sup>2</sup>
Q/#camaras=	0,003	m <sup>3</sup> /s
Vol total=	75,6	m <sup>3</sup>
Vol camaras=	1,5	m <sup>3</sup>
	31,5	m <sup>3</sup>
$\theta$ por camara=	51,428571	s

$$h_f = \frac{Q^2}{19.6 \cdot C_d^2 \cdot A^2}$$

$$h_f = 0,0232 \text{ m}$$

en codo

$$h''_f = 0.4 \frac{v^2}{2g}$$

$$H''_f = 0,0059 \text{ m}$$

Perdidas <  
1m

en el orificio

$$h'''_f = \frac{Q^2}{19.6 \cdot C_d^2 \cdot A^2}$$

O.K

$$H'''_f = 0,0220 \text{ m}$$

Perdida de carga por camara

0,0511 m

Perdida de carga en las 21 camaras

1,0732 m

Gradiente

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu c * t}}$$

G= 106,778 S-1

Gradiente  
entre 20 y  
50

no cumple

### 2.2.1. Estado Optimizado.

A partir de lo que ya estaba construido y con base en la evaluación inicial, se presenta a continuación la propuesta más viable al funcionamiento de la Planta de tratamiento de agua potable del municipio Purificación en el departamento del Tolima.

Un documento técnico que presenta una alternativa eficaz y eficiente, que pretende reducir costos en operación y mantenimiento.



## 2.2.2. Optimización de la PTAP, Memorias de cálculo.

Canaleta Parshall

Checkeo

Datos de Entrada

<b>Q=</b>	0,1	m <sup>3</sup> /s	
<b>W=</b>	9	"	
	0,2	m	
<b>D=</b>	0,6	Tabla	m
<b>N=</b>	0,1	Tabla	m
<b>G=</b>	0,5	Tabla	m
<b>C=</b>	0,4	Tabla	m
<b>A=</b>	0,9	Tabla	m

Aumentar canaleta a 9"

$$w' = \frac{2}{3} (D - W) + W$$

1  $w' = 0,460 \text{ m}$

$$Ha = \sqrt[1,53]{\frac{Q}{0,535}}$$

2  $Ha = 0,265 \text{ m}$

$$Va = \frac{Q}{w' * Ha}$$

3  $Va = 0,576 \text{ m/s}$

$$Ea = \frac{Va^2}{2 * g} + Ha + N$$

4  $Ea = 0,396 \text{ m}$

$$Vb = \frac{Q}{WHb}$$

$$Eb = \frac{Vb^2}{2g} + Hb$$

5	Hb=	0,26159	m	Hb asumido 0,2615852 0,0010892
6	Eb=	0,293	m	
	Vb=	1,171	m/s	

$$Nfb = \frac{Vb^2}{\sqrt{g * Hb}}$$

7                      NFb=      0,855

$$\frac{H2}{Hb} = \frac{1}{2} * (\sqrt{1 + 8 * Nfb^2})$$

H2=      0,342 m

H2>Ha

O.K

9      Tiempo de Resalto

$$t = \frac{g}{Vm}$$

$$Vc = \frac{Q}{H2c}$$

$$Vm = \frac{V2 + Vc}{2}$$

$$V2 = \frac{Q}{W * H2}$$

Vc=	0,538	m/s
V2=	0,894	m/s
Vm=	0,716	m/s
t=	0,638	s

Tiempo  
Aprox 1s

O.K

10                      Δh= Figura 2.8

Δh=      0,14 cm

11

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu d * t}}$$

Gradiente  
entre 1000  
y 2000

Peso Especifico del agua 9810 N/m<sup>3</sup>

Viscosidad Dinamica 0,0008172 Pa\*s O.K

$$G = 1035,61 \text{ } S^{-1}$$

12

$$S = \frac{H^2}{Hb - N}$$

$$S = 2,320 \%$$

# Sedimentador Colmena a 60°

Checkeo

## Datos de Entrada

Q=	0,07	m3/s	Sen60	0,866
#Sedimentadores=	4		Cos60	0,500
Largo=	9	m		
Ancho=	2,8	m		
Profundidad=	1,2	m		
Sc-Colmena=	1,33			
Inclinacion=	60	°		

## 1 Carga de cada sedimentador

$$Q/\#Sedimentadores= 0,0175 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$CS=\frac{Q}{A}$$

CS=	0,000694	m/s
	60,000000	m/d

CS entre 60  
y 400 m/d

## 2 Velocidad Ascendente

O.K

$$VSC=\frac{SCVo}{\text{sen}\theta+(LR\cos\theta)}$$

$$Lr=\frac{L}{e}=20 \text{ condicion ideal}$$

Vo=	0,0057	m/s
	0,270	cm/s

Vo < 1cm/s

O.K

## 3 Area Lamelas

$$As=\frac{Q}{Vo\text{sen}\theta}$$

$$As= 3,562 \text{ m}^2$$

4 Velocidad Lamelas

$$As=LI*B$$

$$LI= 1,27 \text{ m}$$

5 Espaciamiento entre lamelas



$$\text{sen}60=CO/H$$

$$H= 1,386 \text{ m}$$

$$e= 0,069$$

6 Numero de lamelas

$$LI/e= \frac{18,36}{13}$$

7 Tiempo de retencion lamela

$$L/Vo= \frac{244,2 \text{ s}}{4,070 \text{ min}}$$

$$t < 15 \text{ min}$$

O.K

8 Correccion de la longitud relativa

$$L'R = 0.013NR$$

$$NR = \frac{V_e}{vc}$$

$$NR < 500$$

O.K

$$NR = 459,74$$

$$\text{Viscosidad Cinematica} = 0,000000855 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L'R= 5,977$$

$$L'RC \leq \frac{LR}{2} = L'RC = LR - L'R$$

$$L'RC= 14,023$$

# Floculador Tipo Alabama

Checkeo

Datos de Entrada

Q=	0,035	m <sup>3</sup> /s
Camaras=	9	
θ=	18	min
Largo=	1,5	
Ancho=	1	
Profundidad=	2	
φ Orificio=	18	"
	0,4572	m
φ Tuberia=	16	"
	0,4064	m
Area Orifici=	0,164	m <sup>2</sup>
Area Tubo=	0,130	m <sup>2</sup>
Q/#camaras=	0,004	m <sup>3</sup> /s
Vol total=	37,8	m <sup>3</sup>
Vol camaras=	3	m <sup>3</sup>

θ por camara= 120 s

$$h_f = \frac{Q^2}{19,6 \cdot C_d^2 \cdot A^2}$$

H<sub>f</sub>= 0,0058 m

en codo

$$h''_f = 0,4 \frac{v^2}{2g}$$

H''<sub>f</sub>= 0,0015 m

Perdidas <  
1m

en el orificio

$$h'''_f = \frac{Q^2}{19,6 \cdot C_d^2 \cdot A^2}$$

O.K

H'''<sub>f</sub>= 0,0055 m

Perdida de carga por camara

0,0128 m

Perdida de carga en las 7 camaras

0,1150 m

Gradiente de

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu c * t}}$$

Gradiente  
entre 20 y  
50

O.K

G= 34,951 S-1

Filtracion

Datos de Entrada

Q	6048	m3/d
Cs	235	m/d
VI	0,0125	m/s
tl	900	s
tf	1,25	d

Numero de filtros

$$n = 0.044\sqrt{Q}$$

n= 3,422 filtros  
4 filtros

Qf= 1512 m3/d

$$As = \frac{Qf}{Cs}$$

As= 6,4340 m2

As= 2,5365 m

2.5\*2.5 m

Ql= 0,080 m3

Vol L= 72,38 m3

Vol Filtro= 1890 m3

% 3,83 %

### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

Para la evaluación inicial de la planta de tratamiento que opera actualmente en el municipio, se encontró que tiene un diseño sobredimensionado y que algunos de sus componentes como lo son canaleta Parshall, Floculador, Sedimentador y Filtros, no están cumpliendo con los parámetros mínimos establecidos por la norma RAS-2000. En la parte izquierda de las memorias, se encuentra el procedimiento de cálculo para cada elemento de la planta de tratamiento; en la parte derecha el respectivo chequeo, que sirve para comprobar su funcionamiento.

Actualmente se está tratando un caudal de 90l/s, de los cuales la población utiliza 40l/s, dejando la planta con una eficiencia muy baja, por ende, existe un sobre costo en cuanto a mantenimiento y operación, dineros que el pueblo podría utilizar en otros beneficios para la población.

Datos Actuales que no cumplen con la norma.

Canaleta Parshall  $h_2 < H_a$ , gradiente  $759.8 < 1000 \text{ s}^{-1}$

Sedimentador  $CS=30,9 < 60 \text{ m/d}$

Floculador Gradiente  $106.7 > 50 \text{ s}^{-1}$

Filtros 3 No son suficientes.

Se presentó una propuesta con base en lo que ya se encuentra construido y un diseño optimizado. Los resultados obtenidos indican que se debe dividir el caudal al inicio del tratamiento así de este modo aplicar menos de la mitad del químico utilizado en el proceso, aumentar el ancho de garganta de la canaleta a 9", utilizar alternadamente 9 cámaras de las 21 existentes en el proceso de floculación, aumentar el número de Sedimentadores a 4, así como sus dimensiones, también aumentar el número de filtros a 4 para garantizar una mayor remoción.



#### 4. CONCLUSIONES

- Para todo diseño de obras de infraestructura es posible realizar un análisis que permita reducir de manera significativa los costos.
- Ser ingeniero civil trata de estar presente en la problemática que está presente en toda población y así llegar a una solución que permita un mejor desarrollo de la ciudadanía.
- Se puede mejorar las condiciones de calidad del agua a un menor costo.

## 5. RECOMENDACIONES

- Se debe dividir el caudal al inicio del tratamiento por el que la población necesite en ese momento, el excedente devolverlo al río Magdalena, de este modo aplicar menos de la mitad del químico utilizado en el proceso, aumentar el ancho de garganta de la canaleta a 9", utilizar alternadamente 9 cámaras de las 21 existentes en el proceso de floculación, aumentar el número de Sedimentadores a 4, así como sus dimensiones, también aumentar el número de filtros a 4 para garantizar una mayor remoción.
- Se recomienda cambiar el método empleado de desinfección por la utilización de hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) por su concentración y eficiencia. Anteriormente se usaba mucho el cloro gaseoso pero este es un riesgo debido a su estado inflamable, y concentración. También es difícil su obtención en el mercado.
- Es conveniente el diseño e implementación de una planta de tratamiento de agua residual, esta última no puede ser vertida de nuevo al río en esas condiciones, puesto que presenta una DBO y contaminantes nocivos que serán captados por la población más cercana.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MUNICIPAL DE PURIFICACION TOLIMA. Panorama del Valle del Magdalena [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:[http://www.purificacion-tolima.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.purificacion-tolima.gov.co/informacion_general.shtml)>. [Citado el 28 de Julio de 2013]

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogota D.C.: Mc Graw Hill. Volumen 1, 2000, 853 págs.

BUSTAMANTE ESTRADA, María. Obras Hidráulicas [En Línea]. Disponible en Internet: <<http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html>>. [Citado el 28 de Noviembre de 2013]

GLOBAL HEALTH AND EDUCATION FOUNDATION. Sistemas de Filtración [En Línea]. Disponible en Internet: < <http://www.drinking-water.org/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>>. [Citado el 03 de Agosto de 2013]

IDEAM. Nueva Medición de la Calidad de Agua en los Ríos Magdalena y Cauca [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Ambiental/Publicacion%20Convenio.pdf>>. [Citado el 29 de Septiembre de 2013]

LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª edición, 2003. 546 págs.

SALAZAR LEON, Juan camilo. Estructuras de Captación [En Línea]. Disponible en Internet: <URL:<http://es.scribd.com/doc/62506469/ESTRUCTURAS-DE-CAPTACION>>. [Citado el 15 de Agosto de 2013]